

**PRV**

PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET

Patentavdelningen

REC'D 19 JAN 2004

WIPO

PCT

**10/536897**

**Intyg  
Certificate**

*Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.*

*This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in connection with the following patent application.*



(71) Sökande                      Arcam AB, Mölndal SE  
Applicant (s)

(21) Patentansökningsnummer    0203768-7  
Patent application number

(86) Ingivningsdatum                      2002-12-19  
Date of filing

Stockholm, 2003-12-15

För Patent- och registreringsverket  
For the Patent- and Registration Office

*Sonia André*

Sonia André

Avgift  
Fee

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

## TITEL

Anordning samt metod för framställande av en tredimensionell produkt.

## TEKNISKT OMRÅDE

- 5 Uppfinningen avser en anordning och en metod för framställning av en tredimensionell produkt genom successiv sammansmältning av utvalda delar av på ett arbetsbord pålagda pulverlager.

## TEKNIKENS STÄNDPUNKT

- 10 Genom exempelvis US 4863538 är förut känd en anordning för framställande av en tredimensionell produkt genom successiv sammansmältning av utvalda delar av på ett arbetsbord pålagda pulverlager. Anordningen innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda tredimensionella produkt skall uppbyggas, en pulverdispenser vilken är anordnad att lägga ut ett tunt lager av pulver på
- 15 arbetsbordet för bildande av en pulverbädd, en strålskanon för avgivande av energi till pulvret varvid sammansmältning av pulvret sker, organ för styrning av den av strålskanonen avgivna strålen över nämnda pulverbädd för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella produkt genom sammansmältning av delar av nämnda pulverbädd och en styrdator i vilken
- 20 information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad. Genom sammansmältning av utvalda delar av successiva pålagda pulverlager byggs den tredimensionella produkten upp. Styrdatorn är ämnad att styra avlänkingsorgan för den av strålskanonen genererade strålen över pulverbädden enligt ett körschema vilket avbildar ett förutbestämt mönster.
- 25 När körschemat sammansmält önskat område hos ett pulverlager har ett tvärsnitt hos nämnda tredimensionella kropp bildats. En tredimensionell produkt bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur av pulverdispensern successivt pålagda pulverskikt.
- 30 Genom SE 0001557-8 är förut känt en anordning för framställande av en tredimensionell produkt där uppmätning av ytstrukturen och ytemperaturen hos den producerade tredimensionella kroppen medges under

tillverkningsförfarandet. Genom att nyttja den däri beskrivna anordningen möjliggörs ökad överensstämmelse av formen hos de producerade tredimensionella kropparna i förhållande till avsedd form. I

- 5 tillverkningsprocessen av de tredimensionella produkterna har det dock visat sig att ytspänningar hos den tillverkade produkten ger upphov till formavvikelse samt inre spänningar i produkten vilka kan ge upphov till initiering av sprickbildning.

# KORT BESKRIVNING AV UPPFINNINGEN

10

Ett ändamål med uppfinningen är att tillhandahålla en metod för framställning av tredimensionella kroppar där reduktion av förekomsten av ytspänningar och därigenom inducerade formavvikelse samt förekomsten av inre spänningar i slutprodukten möjliggörs. Detta ändamål uppnås genom en

15 anordning enligt den kännetecknande delen av patentkravet 1.

Enligt den föreslagna metoden beräknas en energijämnvikt för det utvalda område som skall sammansmältas inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida inmatad energi till pulverlagret är tillräcklig för

20 att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos nästkommande lager.

Energijämnviktsberäkningen omfattar information om hur mycket effekt som instrålar från den underliggande redan bearbetade strukturen till det lager som skall bearbetas samt hur mycket effekt som utstrålar från det område som skall bearbetas. Information om tillförd energi från den i anordningen

- 25 nyttjade strålskanonen till ett kommande pulverlager erhålles från ett för pulverlagret fastställt körschema. Körschemat innehåller information om avgiven effekt, svephastighet, och svepmönster. Genom energijämnviktsberäkningen beräkningen inhämtas information som möjliggör upprätthållande av en bestämd arbetstemperatur vid bearbetning
- 30 av ytan. Genom att upprätthålla en bestämd arbetstemperatur, dvs en ytemperatur inom ett givet bestämt temperaturintervall under produktionen av samtliga lager tillses att förekomsten ytspänningar som uppkommer vid för

nedkylning av delar av den tredimensionella kroppen reduceras. Detta medför i sin tur att slutprodukten uppvisar en reducerad förekomst av formavvikelse samt att i storleken av i slutprodukten förekommande inre spänningar reduceras.

5

Ett andra ändamål med uppfinningen är att tillhandahålla en anordning för framställning av tredimensionella kroppar där reduktion av förekomsten av ytspänningar och därigenom inducerade formavvikelse samt förekomsten av inre spänningar i slutprodukten möjliggörs. Detta ändamål uppnås genom en anordning enligt den kännetecknande delen av patentkravet 8.

10

Hos en föreslagna anordningen anordnas styrdata att beräkna en energijämnvikt för varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida inmatad energi till pulverlagret är tillräcklig för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos nästkommande lager. Genom beräkningen inhämtas information som möjliggör upprätthållande av en bestämd arbetstemperatur. Genom att upprätthålla en bestämd arbetstemperatur, dvs en ytemperatur inom ett givet bestämt temperaturintervall under produktionen av samtliga lager tillses att förekomsten ytspänningar som uppkommer vid för stark nedkylning av den tredimensionella kroppen reduceras. Detta medför i sin tur att slutprodukten uppvisar en reducerad förekomst av formavvikelse samt en reducerad förekomst av inre spänningar i slutprodukten.

15

20

## 25 FIGURBESKRIVNING

Uppfinningen kommer nedan att närmare beskrivas i anslutning till bifogade ritningsfigurer, där:

fig. 1 visar en genomskärning av en anordning enligt uppfinningen,

30

- fig. 2 visar schematiskt en genomskärning av en tredimensionell kropp bildad av ett antal pulverlager samt ett översta pulverlager,
- 5 fig. 3 visar ett område som skall sammansmältas vilket uppvisar ett inre område och en rand,
- fig. 4 visar en vidare indelning av det område som skall sammansmältas i en uppsättning avskilda områden, var och en uppvisande inre områden och ränder,
- 10 fig. 5 visar en principmodell för beräkning av energijämnvikt,
- fig. 6 visar en andra principmodell för beräkning av energijämnvikt,
- 15 fig. 7 visar en uppsättning skilda kurvformer med en endimensionell störterm,
- fig. 8 visar schematiskt hur värmefördelningen ser ut i en kropp där en strålkänns fokalpunkt med diametern  $D$  uppvärmt kroppen, dels i närvaro av en störterm, dels i frånvaro av en störterm,
- 20 fig. 9 visar ett exempel på fokalpunktens rörelse i förhållande till förflyttning av fokalpunkten längs den huvudsakliga rörelseriktningen,
- 25 fig. 10 visar en uppsättning skilda kurvformer med en tvådimensionell störterm,
- 30 fig. 11 visar rörelsemönstret för en fokalpunkt enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen,

- fig. 12 visar fokalpunkternas placering samt ett utvidgat område inom vilket sammansmältning sker,
- 5 fig. 13 visar organ för avkänning av ytegenskaper ingående i en utföringsform av anordningen ,
- fig. 14 visar en vy från sidan av en kammare försedd med ett genomsynligt fönster,
- 10 fig. 15 visar en anordning för frammatning och fixering av en skyddsfilm för bibehållande av genomsynlighet hos fönstret,
- fig. 16 visar ett flödesschema för generering av primärkörschewan,
- 15 fig. 17 visar ett flödesdiagram för ett körschema hos anordningen,
- fig. 18 visar ett flödesdiagram för korrigering av nämnda körschema,
- 20 fig. 19 visar schematiskt ett förfarande innefattande korrigering av körschewan med hjälp av information inhämtad från en kamera vilken uppmäter temperaturfördelningen över pulverbäddens yta,
- fig. 20 visar schematiskt ett förfarande för korrigering av körschewan,
- 25 fig. 21 visar en schematisk uppbyggnad av ett tredimensionellt föremål och
- fig. 22 visar ett antal tvärsnitt ur figur 21.

30

UTFÖRINGSEXEMPEL

I figur 1 visas en anordning för framställande av en tredimensionell produkt generellt betecknad med 1. Anordningen innefattar ett arbetsbord 2 på vilken en tredimensionell produkt 3 skall uppbyggas, en eller flera pulverdispensrar 4 samt organ 28 vilka är anordnade att lägga ut ett tunt lager av pulver på arbetsbordet 2 för bildande av en pulverbädd 5, en strålskanon 6 för avgivande av energi till pulverbädden varvid sammansmältning av delar av pulverbädden sker, organ för styrning 7 av den av strålskanonen 6 avgivna strålen över nämnda arbetsbord för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella produkt genom sammansmältning av nämnda pulver och en styrdator 8 i vilken information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad, vilka tvärsnitt bygger upp den tredimensionella produkten. Vid en arbetscykel kommer, enligt den visade föredragna utföringsformen, arbetsbordet att successivt sänkas i förhållande till strålskanonen efter varje pålagt pulverlager. För att möjliggöra denna förflyttning är i en föredragen utföringsform av uppfinningen arbetsbordet förflyttbart anordnat i vertikalled, dvs i den riktning som indikeras av pilen P. Detta innebär att arbetsbordet startar i ett utgångsläge 2' i ett läge där ett första pulverlager av nödvändig tjocklek pålagts. För att inte skada det underliggande arbetsbordet och för att tillhandahålla tillräcklig kvalitet på detta lager gör detta lager tjockare än övriga pålagda lager, varvid genomsmältning av detta första lager undviks. Därefter sänks arbetsbordet i anslutning till att ett nytt pulverlager utläggs för bildandet av ett nytt tvärsnitt av den tredimensionella produkten. För detta ändamål är i en utföringsform av uppfinningen arbetsbordet uppburet av en ställning 9 vilken innefattar åtminstone en kulskriv 10, försedd med tandning 11. En steg- eller servomotor 12 försedd med ett kugghjul 13 ställer in arbetsbordet 2 i önskat höjdläge. Även andra för fackmannen kända anordningar för inställning av arbetshöjd på ett arbetsbord kan nyttjas. Exempelvis kan ställskruvar utnyttjas i stället för kuggstänger. Enligt en alternativ utföringsform av uppfinningen kan i anordningen ingående organ för pulverutläggning successivt höjas, i stället för att såsom i den ovan beskrivna utföringsformen sänka arbetsbordet.

Organet 28 är anordnat att samverka med nämnda pulverdispensrar för påfyllnad av material. Vidare drivs organets 28 svep över arbetsytan på känt sätt med en servomotor (icke visad), vilken förflyttar organet 28 längs en guideskena 29 vilken löper längs pulverbädden.

Vid påläggning av ett nytt pulverskikt, kommer tjockleken av pulverskiktet att bestämmas av hur mycket arbetsbordet sänkts i förhållande till förra lagret. Detta innebär att lagertjockleken kan varieras efter önskemål. Det är därför möjligt att i då ett tvärsnitt uppvisar stor formförändring mellan näraliggande lager att göra tunnare lager varvid en högre ytfinitet uppnås och då liten eller ingen formförändring förekommer göra lager med för strålen maximal genomträngningstjocklek.

I en föredragen utföringsform av uppfinningen utgörs strålskanonen 6 av en elektronkanon varvid organen för styrning 7 av strålskanonens stråle utgörs av avlänkningspoler 7". Avlänkningspolen 7" alstrar ett magnetfält vilket styr den av elektronkanonen alstrade strålen varvid smältning av ytlagret hos pulverbädden på önskat ställe kan åstadkommas. Vidare innefattar strålskanonen en högspänningskrets 20 vilken är avsedd att på känt sätt förse strålskanonen med en accelerationsspänning för från en hos strålskanonen anordnad emitterelektrod 21. Emitterelektroden är på känt sätt ansluten till en strömkälla 22 vilken nyttjas till att upphetta emitterelektroden 21 varvid elektroner frigges. Strålskanonens funktion och komposition är välkänd för en fackman på området.

Avlänkningspolen styrs av styrdatorn 8 enligt ett utlagt körschema för varje lager som skall sammansmältas varvid styrning av strålen enligt önskat körschema kan åstadkommas.

Vidare finns åtminstone en fokusspole 7' vilken är anordnad att fokusera strålen på pulverbäddens yta på arbetsbordet. Avlänkningspoler 7" och



fokusspolar 7' kan anordnas enligt ett flertal för fackmannen välkända alternativ.

- 5 Anordningen är innesluten i ett hölje 15 som innesluter strålskanon 6 och pulverbädd 2. Höljet 15 innefattar en första kammare 23 vilken omsluter pulverbädden och en andra kammare 24 vilken omsluter strålskanonen 6. Den första kammaren 23 och den andra kammaren 24 kommunicerar med varandra via en kanal 25, vilken medger att emitterade elektroner, vilka accelererats i högspänningsfältet i den andra kammaren kan fortsätta in i den första kammaren för att senare träffa pulverbädden på arbetsbordet 2.

- 15 I en föredragen utföringsform är den första kammaren ansluten till en vakuumpump 26 vilken sänker trycket i den första kammaren 23 till ett tryck av företrädesvis  $\text{ca. } 10^{-3} - 10^{-5} \text{ mBar}$ . Den andra kammaren 24 är företrädesvis ansluten till en vakuumpump 27 vilken sänker trycket i den andra kammaren 24 till ett tryck av  $\text{ca. } 10^{-4} - 10^{-6} \text{ mBar}$ . I en alternativ utföringsform kan både den första och den andra kammaren vara anslutna till samma vakuumpump.

- 20 Styrdatoren 8 är vidare företrädesvis ansluten till strålskanonen 6 för reglering av avgiven effekt hos strålskanonen samt ansluten till stegmotorn 12 för inställning av arbetsbordets höjdläge 2 mellan varje konsekutiv påläggning av pulverlager, varvid pulverlagrens individuella tjocklek kan varieras.

- 25 Vidare är styrdatoren ansluten till nämnda organ 28 för pulverutläggning på arbetsytan. Detta organ är anordnat att svepa över arbetsytan varvid ett lager pulver utlägges. Organet 28 drivs av en servomotor (icke visad) vilken styrs av nämnda styrdator 8. Styrdatoren styr svepets längd samt tillser att pulver påfylls vid behov. För den skull kan lastgivare vara anordnade i organet 28
- 30 varvid styrdatoren kan inhämta information om att organet är tomt eller har fastnat.

Styrdatorn 8 är vidare enligt uppfinningen anordnad att beräkna en energijämnvikt för det utvalda området som skall bearbetas inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till delområdet från det utvalda områdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos de t utvalda området.

Syftet med att beräkna energijämnvikten för pulverlagren är att beräkna effekten som behövs för att hålla objektets yta vid en given temperatur. Effekten antas vara konstant över hela ytan.

10

Nedan beskrivs hur jämnviktsberäkningen utförs i en utföringsform av uppfinningen där beräkningen utförs för ett lager i taget

För att kunna beräkna effekten i realtid krävs förenklingar:

15

1. Vi tänker oss att temperaturen är konstant i x och y-led och att den varierar enbart i z led, m.a.o. hela ytan har samma temperatur.
2. Temperaturen i z-led varierar med  $j/L_t$ . Där  $j$  är lagernumret och  $L_t$  är lagertjockleken.
- 20 3. Temperaturfördelningen under smältning anses vara stationär.

Följande parametrar påverkar beräkningen:

Olika index:

- 25  $i$  = index för översta lagret  
 $j$  = lager index går från 1 till  $i$

Objektdata:

- $L_t$  = lagertjockleken som ska smältas [m]  
 30  $L_{cont}(j)$  = konturlängden för lager  $j$  [m]  
 $A_{powt}(z) = A_{pow}(j)$  = arean ut mot pulvret för lager  $j$ . [m]  
 $A(z) = A(j)$  total ytan som har smältas för lager  $j$  [m<sup>2</sup>]

Materialgenskaper:

$\lambda_{met}$  = materialets värmeledningsförmåga [W/mK]

$\sigma_{met}$  = strålningskonstanten för metallytan [W/m<sup>2</sup>K]

5  $\sigma_{metpow}$  = strålningskonstanten för metallyta täckt med pulver [W/m<sup>2</sup>K]

$\sigma_{pow}$  = strålningskonstanten för pulverytan [W/m<sup>2</sup>K]

$\lambda_{pow}$  = pulvrets värmeledningsförmåga [W/mK]

$h_{pow}(z)$  = värmeöverföringstalet från objektet ut mot pulvret [W/m<sup>2</sup>K]

$\alpha$  = andelen av stråleffekten som tas upp av materialet

10

Temperaturer [K]:

$T_{sur}(i)$  = omgivningens temperatur som ytan känner när lager  $i$  smälts (Kan mätas på kepsen)

$T_{pow}(z)$  = temperaturen i pulvret

15  $T(z)$  = temperaturen i objektet

$T_{surf}(i) = T(iL_t)$  = önskad temperaturen på ytan av objektet när lager  $i$  smälts. (Sätts i AMA)

$T_{bott}(i)$  = temperaturen i botten på objektet innan lager  $i$  påbörjas (Mäts precis innan rakning eller beräknas. Se nedan)

20

För att bestämma hur temperaturen fördelar sig i objektet löser vi den endimensionella stationära värmeledningsekvationen inkluderande en källterm som tar hänsyn till värmeförluster ut i pulvret:

25 
$$-\lambda_{met} \frac{\partial^2 T(z)}{\partial z^2} = \frac{h_{pow}(z) A_{pow}(z)}{A(z) L_t} (T_{pow}(z) - T(z))$$

Randvillkoren på ytan och i botten är:

$$-\lambda_{met} \frac{\partial T(z)}{\partial z} \Big|_{z=iL_t} = \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(iL_t)^4 - T_{sur}(i)^4) - \frac{P_{in}}{A(iL_t)}$$

$$-\lambda_{met} \frac{\partial T(z)}{\partial z} \Big|_{z=0} = h_{pow} (T_{bott}(i) - T(0))$$

Där  $A$  och  $B$  är två konstanter.

Skriver om formlerna som differensformler i stället och låter  $j$  vara indexet för varje lager.

5

$$\begin{aligned}
 -\lambda_{met} \frac{T(j+2) - 2T(j+1) + T(j)}{Lt^2} &= \frac{h_{pow}(j)A_{pow}(j)}{A(j)Lt} (T_{pow}(j) - T(j)) \\
 -\frac{\lambda_{met}}{Lt} (T(i) - T(i-1)) &= \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(i)^4 - T_{sur}(i)^4) - \frac{P_{in}}{A(i)} \\
 -\frac{\lambda_{met}}{Lt} (T(2) - T(1)) &= h_{pow}(T_{bott}(i) - T(1))
 \end{aligned}$$

där

$$10 \quad 1 \leq j \leq i-2$$

Randvillkoret på ytan ger oss egentligen inget nytt vad det gäller temperaturfördelningen i objektet eftersom ytans temperatur bestäms av  $T(i)$ .

Men det behövs för att bestämma  $P_{in}$  som är effekten som krävs för att hålla  
15 temperaturen på ytan vid  $T(i)$ .  $T(j)$  fås nu ur följande ekvationssystem:

$$\begin{aligned}
 \Delta(j) &= -\frac{h_{pow}(j)A_{pow}(j)Lt}{A(j)\lambda_{met}} \\
 T(j+2) - 2T(j+1) + T(j)(1 + \Delta(j)) &= \Delta(j)T_{pow}(j) \\
 T(1) &= T_{bott}(i) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} + T(2) \frac{1}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})}
 \end{aligned}$$

Sätt in yttrycket för  $T(1)$  och formulera problemet som ett linjärt  
20 ekvationssystem:

$$1. \quad T(3) - 2T(2) + T(2) \frac{(1 + \Delta(1))}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} = \Delta(1)T_{pow}(1) - T_{bott}(i) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} (1 + \Delta(1))$$

$$2. \quad T(4) - 2T(3) + T(2)(1 + \Delta(2)) = \Delta(2)T_{pow}(2)$$

$$i-2. \quad -2T(i-1) + T(i-2)(1 + \Delta(i-2)) = \Delta(i-2)T_{pow}(i-2) - T(i)$$

5 På matrisform blir det:

$$Ax = b$$

där då:

$$A_{jk} = \delta(j+1-k) - 2\delta(j-k) + \delta(j-1-k)(1 + \Delta(j)) + \delta(1-k)\delta(1-j) \frac{(1 + \Delta(1))}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})}$$

$$10 \quad x_1 = T(2), \dots, x_{i-2} = T(i-1)$$

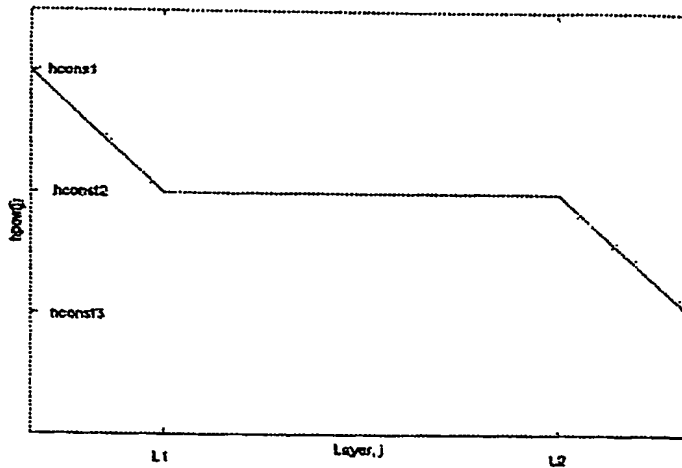
$$b_j = \Delta(j)T_{pow}(j) - \delta(j-1)T_{bott}(i) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} (1 + \Delta(1)) - \delta(j-i+2)T(i)$$

15 För att kunna lösa ekvationerna krävs det att pulvrets temperatur,  $T_{pow}(j)$ , och värmeöverföringstalet,  $h_{pow}(j)$ , är kända. I programmet är  $T_{pow}(z)$  satt till:

$$T_{pow}(j) = AT(j)_{i-1} + BT_{sur}(i-1)$$

20 i-1 betyder att temperaturen för det föregående lagret används för att bestämma  $T_{pow}(j)$ .

Funktionen som används för  $h_{pow}(j)$  ser ut på följande sätt:



Värden  $L1$  och  $L2$  har antagits vara areaoberoende medan  $hconst1$ ,  $hconst2$  och  $hconst3$  antas bero på  $A(j)$ . Alla konstanterna i uttrycken för både  $T_{pow}$  och  $h_{pow}$  har fått fram genom att anpassa 1 D modellen ovan mot en 3D FEM beräkningar på objekt med enkla geometrier.

I uttrycket för källtermen ingår  $A_{pow}(j)$  som egentligen är den totala arean ut mot pulvret för varje lager. Vi stora areaövergångar kan detta värde bli rätt stort vilket medför att värdet på källtermen gör ett hopp. Sådana diskreta skutt medför att lösningen blir instabil. För att förhindra detta sätts enligt en förordagen utföringsform  $A_{pow}(j)$  till  $Lcont(j) * L_t$ . Effektförluster som uppstår genom en areaövergång läggs istället till i efterhand. Storleken på effektförlusten beror på hur stor över respektive underarean är och hur långt under topplagret som areaövergången är belägen. Värden för olika areaövergångar och olika djup har fått fram genom 3D FEM simuleringar. För en godtycklig areaövergång fås effekttillägget genom interpolering.

Innan effekten beräknas läser programmet in de olika värden för  $Lcont(j) * L_t$  och  $A(j)$  för varje lager. Med hjälp av en scriptfil kan man påverka dessa på

olika sätt. På så sätt kan man styra effekten för varje lager. Hur man påverkar de olika geometri parametrarna framgår av beskrivningen över hur scriptfilen fungerar.

5

När ekvationssystemet ovan är löst fås den totala effekten som krävs för att hålla ytan vid  $T_{surf}(i)$  ur randvillkoret för ytan:

$$10 \quad P_{in} = A(i) \left( \frac{\lambda_{met}}{L_t} (T(i) - T(i-1)) + \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(i)^4 - T_{sur}(i)^4) \right)$$

När ett lager smälts används olika ström och hastighet över ytan. För att kunna beräkna de olika strömmarna som krävs sätts medelvärdet av alla effekter som används lika med  $P_{in}$ .

15 Om ett lager ska smältas med  $n_i$  olika strömmar gäller:

$$P_{in} = \alpha U \frac{\sum_{k=1}^{k=n_i} I_{ik} t_{ik}}{T_{tot}}$$

$$t_{ik} = \frac{l_{ik}}{v_{ik}}$$

$$T_{tot} = \sum_{k=1}^{k=n_i} t_{ik}$$

Där  $t_{ik}$  är smälttiden för varje ström  $I_{ik}$

$l_{ik}$  är smältlängden

20  $v_{ik}$  är smälthastigheten

$T_{tot}$  är den totala smälttiden för lagret  $i$ .

$U$  är accelerationsspänningen.

För att kunna beräkna strömmarna måste man alltså veta hastigheterna.

25 Dessa erhålls ur så kallade *speedfunctions* som anger förhållandet mellan

- ström och hastigheten. Eftersom dessa funktioner inte är analytiska måste ett iterativt förfarande användas för att bestämma alla strömmar och hastigheter. I beräkningsprogrammet gissas varje startvärde på  $I_{lk}$ . Därefter hämtas de olika hastigheterna. Värdena på strömmarna ökas sedan på tills medelvärdet av effekten precis överstiger det beräknade värdet på  $P_{in}$ .

- Antag nu att vi vill smälta de olika delareorna med en sådan hastighet och ström att energin som avges till materialet blir mindre än den som krävs för att hålla ytan vid  $T_{surf}(i)$ . Ytan måste då värmas upp. Antalet gånger som behövs för att värma upp ytan fås genom att i uttrycket för medelvärdet på effekten lägga till en uppvärmningsterm:

$$P_i^{heat} = \frac{n \alpha U_i^{heat} T_i^{heat}}{v_i^{heat}}$$

- och i uttrycket för tiden  $T_{tot}$  lägga till uppvärmningstiden:

$$t_i^{heat} = \frac{n l_i^{heat}}{v_i^{heat}}$$

där  $n$  anger hur många gånger som ytan måste värmas upp.

- Ovan redovisade beräkningsrutin kan nyttjas för hela pulverlagret. I en alternativ utföringsform kan beräkningen ske för olika delareor av pulverlagret. Även i detta fall kan de ovan angivna ekvationerna nyttjas. Dock erhålles andra randvillkor för de inre ränder som ligger an mot en smält kropp.

- I figur 2 visas en sidovy av en sammansmält kropp 30 vilken är uppbyggd genom sammansmältning av delområden 31 – 34 i konsekutiva pulverlager i – 1, i – 2, i – 3, i – 4. Givetvis kan en verklig kropp tillverkad enligt uppfinningen innefatta långt fler lager än vad som angivits i detta exempel.



På kroppen är ett översta pulverlager i utlagt. Inom detta översta pulverlager är ett urvalt område 35 beläget. Det utvalda området 35 utgörs av det område som enligt ett körschema skall sammansmältas. Det utvalda området 35 inom lagret i begränsas av en yttre rand 36. Det är givetvis tänkbart att ett

5 urvalt område innefattar såväl yttre som inre ränder. Jämnviktsberäkningen skall utföras på hela det utvalda området 35. I förekommande fall delas detta område upp i en mängd mindre delområden för separata beräkningar. Inom det utvalda området 35 är ett delområde 37 visat för vilket en energijämnvikt skall beräknas. Det delområdet 37 kan utgöras av en del av det utvalda

10 området såsom visas i figur 5 alternativt utgöras av hela det utvalda området. Företrädesvis är det utvalda området 35 indelat i en mängd mindre delområden såsom visas i figur 4.

I figur 3 visas schematiskt ett område 35 som skall sammansmältas.

15 Området innefattar ett inre område I vilket avgränsas av en rand R.

I figur 4 visas schematiskt ett område 35 som skall sammansmältas. Detta område är indelat i ett flertal delområden 80 - 91, vilka var och en uppvisar ett inre område och en rand.

20 Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen beräknas energijämnvikt separat för var och en av nämnda uppsättning avskilda områden 80 - 91. Det utvalda området begränsas av en yttre rand 72. Givetvis kan det utvalda området även innefatta inre ränder. Enligt en ytterligare föredagen utföringsform av uppfinningen innefattar nämnda uppsättning avskilda

25 områden 38 - 53 en första grupp områden 80 - 81 vars ränder ligger helt inom utvalda område 35 samt en andra grupp områden 82 - 91 vars ränder åtminstone delvis sammanfaller med det utvalda områdets rand R. I förekommande fall kan områden inom nämnda andra grupp av områden indelas i underområden. Företrädesvis uppvisar vart och ett av de i nämnda

30 första grupp av områden ingående delområdena 80,81 samma form. I det visade exemplet är områdena kvadratiska. Rektangulära, triangelformade och hexagonala områden kan med fördel användas. Randvillkoren inom

denna grupp är även likartade eftersom inga yttre ränder i kontakt med pulverlager vilka inte skall smältas förekommer. Genom nyttjande av formlikhet kan beräkningsrutinerna förenklas eftersom de vis gemensamma beräkningar kan utföras.

5

Energijämnvikten beräknas principiellt enligt  $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$ , där  $E^{in}(i)$  utgör inmatad energi till delområdet  $E^{out}(i)$  utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet +  $E^{heat}(i)$  utgör upplagrad i delområdet. Den inmatade energin utgörs av dels energi  $E^{in(c)}$  vilken

- 10 instrålats eller inströmmat via värmeledning från omgivningen av det delområde 35 för vilken energijämnvikten beräknas., dels av energi vilken instrålats från strålkanon 6  $E^{in(s)}$ . I det fall att energijämnvikten beräknas innan energi tillförts delområdet 35 gäller sålunda att  $E^{in(s)} = 0$ . Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen sker åtminstone en första
- 15 energijämnviktsberäkning för delområdet 35 innan energi tillförts via strålkanon 6, varvid den nödvändiga energimängden för bibehållande av lämplig arbetstemperatur kan fastställas.

I figur 5 visas schematisk en modell på vilken beräkningen av energijämnvikten för delområdet  $\Delta_1$  baseras. I detta fall motsvaras

- 20 delområdet  $\Delta_1$  av en del av det utvalda området av pulverlagret i. I detta fall får ekvationen för beräkningen av energijämnvikten utseendet  $E^{in}(\Delta_1) = E^{out}(\Delta_1) + E^{heat}(\Delta_1)$ , där  $E^{in}(\Delta_1)$  utgör inmatad energi till delområdet,  $E^{out}(\Delta_1)$  utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet  $\Delta_1$  och  $E^{heat}(\Delta_1)$  utgör upplagrad i delområdet  $\Delta_1$ . Den inmatade energin utgörs av
- 25 dels energi  $E^{in(c)}(\Delta_1)$  vilken instrålats eller inströmmat via värmeledning från omgivningen av delområdet  $\Delta_1$  för vilken, dels av energi  $E^{in(s)}\Delta_1$  vilken instrålats från strålkanon 6.

I figur 6 visas schematisk en modell på vilken beräkningen av energijämnvikten för ett andra delområdet  $\Delta_2$  inom det utvalda området 35 i

- 30 lagret i baseras. I detta fall motsvaras delområdet  $\Delta_2$  av en del av det utvalda

området 35 av pulverlagret i vilken ännu inte sammansmälts och vilket angränsar till ett första delområde  $\Delta_1$  inom pulverlagret i, där utstrålning eller värmeledning sker från nämnda första till nämnda andra delområde. I detta fall får ekvationen för beräkningen av energijämnvikten utseendet  $E^{in}(\Delta_2) = E^{out}(\Delta_2) + E^{heat}(\Delta_2)$ , där  $E^{in}(\Delta_2)$  utgör inmatad energi till delområdet  $E^{out}(\Delta_2)$  utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet  $\Delta_1 + E^{heat}(\Delta_2)$  utgör upplagrad i delområdet  $\Delta_2$ . Den inmatade energin utgörs av dels energi  $E^{in(c)}(\Delta_2)$  vilken instrålats eller inströmmat via värmeledning från omgivningen av delområdet  $\Delta_1$  för vilken, dels av energi  $E^{in(s)}\Delta_2$  vilken instrålats från strålkanonens 6. Den via värmeledning tillförda energin  $E^{in(c)}(\Delta_2)$  innefattar dels komponenten  $E^{in(s)}(\Delta_2, i - 1)$  vilken motsvarar tillförd energi från tidigare lager samt  $E^{out}(\Delta_1, \Delta_2)$  vilken motsvarar energi vilken avletts eller utstrålats från det första delområdet  $\Delta_1$  och tillförts det andra delområdet  $\Delta_2$ .

15

Beräkningen av energijämnvikten kan enligt vad ovan angivits basera sig på information omfattande ett urval eller samtliga av följande parametrar:

20 totala arean hos delområdet; totala volymen hos delområdet; totala längden av randen hos delområdet; pulverlagrets omgivningstemperatur; översta pulverlagrets temperatur; temperaturen i ett sammansmält område inom det utvalda området i det översta lagret; önskad yttemperatur hos det sammansmälta utvalda området; temperaturen i den tredimensionella kroppens botten; temperaturen i den tredimensionella kroppens övre yta;  
25 temperaturen hos den tredimensionella kroppen innan tillförsel av energi till det utvalda området i det översta lagret.

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen sammansmälts det inre området I med ett rörelsemönster för fokuspunkten hos strålkanonens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda..  
30

- huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komposant i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Störtermen växlar riktning och uppvisar ett tidsmedelvärde motsvarande en nollavdrift från den huvudsakliga rörelseriktningen. I figur 7 visas tre olika exempel på olika utseenden på störtermen vilka ger upphov till en rörelse i form av en trekantsvåg, en sinusformad kurva och en fyrkantsvåg.

- I figur 8 visas schematiskt hur värmefördelningen ser ut i en kropp där en strålkänns fokalpunkt med diametern  $D$  uppvärmt kroppen.
- 10 Temperaturfördelningen kring fokalpunkten har formen av en Gaussklocka. Temperaturfördelningen kring en fokalpunkt utan störterm visas med kurvan markerad ( $\alpha$ ). Genom störtermen breddas det spår som bearbetas under strålens propagering längs den huvudsakliga rörelseriktningen. Ett breddat spår visas med kurvan indikerad med ( $\beta$ ). Det breddade spåret har även en
- 15 temperaturfördelning med lägre maxvärde. Detta reducerar risken för uppkomst av överhettning med bildande av ojämnheter som följd.

- Störtermen är företrädesvis av sådan art att en smältzon bildas, vilken uppvisar en bredd huvudsakligen motsvarande dubbla amplituden hos
- 20 störtermens komposant i riktning vinkelrätt mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Medelhastigheten av absolutbeloppet av fokalpunktens rörelse i störtermens riktning skall företrädesvis överstiga hastigheten för värmeutbredningen i materialet. Hastigheten i den huvudsakliga rörelseriktningen motsvarar företrädesvis hastigheten för värmeutbredningen
- 25 i materialet. Amplituden och frekvensen hos störtermen skall företrädesvis avpassas så att fokalpunkten hinner röra sig från sitt utgångsläge där störtermen har värdet noll, passera min och maxvärdet för störtermen och återta sitt läge tills det under den tid värmeutbredningens vågfront rör sig från första nollläget till det andra nollläget. Detta visas schematiskt i figur 9. I
- 30 figur 9 visas hur fokalpunkten rör sig längs kurvan 50 från en första position 51, förbi ett maxima 52 hos störtermen, ett minima 53 hos störtermen för att därefter anta en andra position 54 med ett nollvärde på störtermen. Under

denna tid har värmeutbredningens vågfront propagerat från den första positionen 51 fram till den andra positionen. I det fall att störtermens medelhastighet är för låg bildas i stället för ett brett spår ett kurvformat smält spår vilket löper inom den bana som definieras av störtermens ändpunkter.

5

Enligt en föredragen utföringsform uppvisar störtermen även en komposant i en riktning parallell med den huvudsakliga rörelseriktningen. Störtermen är i detta fall tvådimensionell. Exempel på störtermer med tvådimensionell riktning ges i figur 10.

10

Randen R sammansmälts företrädesvis under en huvudsakligen rätlinjig rörelse hos strålskanonens stråle.

15 Syftet med att köra med ett rörelsemönster för fokuspunkten hos strålskanonens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komposant i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen är att man med bredare spår kan förflytta smältzonen långsammare men ändå smälta med en relativt hög hastighet jämfört med konventionell körning. En  
20 långsam förflyttning av smältzonen ger mindre förångning och mindre förekomst av att smält material kokar och stänker. Syftet med att randen sammansmälts med en kontinuerlig huvudsakligen rätlinjig rörelse är att detta ger en slät ytstruktur för den färdiga produkten.

25 Nedan följer en analys av rörelsemönstret för strålskanonens stråle vid en föredragen utföringsform av uppfinningen med en tvådimensionell störterm vilket ger upphov till ett spirallikande rörelsemönster för fokuspunkten.

30 Läget för en fokuspunkt som roterar kring x-axeln och som rör sig längs samma axel med hastigheten  $V_x$  kan fås ur:

$$\vec{r}(t) = (V_x t + A_x \cos(\omega t))\vec{x} + A_y \sin(\omega t)\vec{y} \quad \text{Ekv. 1}$$

där  $A_x$  och  $A_y$  är amplituderna i x- respektive y-led.

En typiskt "spinnkurva" kan se ut enligt vad som visas i figur 11:

5

Det i figur 7 visade mönstret fås om  $\omega$  sätts till:

$$\omega = \frac{2\pi V_x}{A_x} \quad \text{Ekv. 2}$$

10 Fokalpunktens hastighet ges av:

$$\frac{d\vec{r}(t)}{dt} = (V_x - A_x \omega \sin(\omega t))\vec{x} + A_y \omega \cos(\omega t)\vec{y} \quad \text{Ekv. 3}$$

Dess absoluthastighet är således:

15

$$\left| \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \right| = \sqrt{(V_x - A_x \omega \sin(\omega t))^2 + (A_y \omega \cos(\omega t))^2} \quad \text{Ekv. 4}$$

Om fokalpunkten rör sig enligt formlerna ovan så kommer dess hastighet att variera och vara som störst antingen på undersidan av x-axeln och minst på ovensidan eller tvärtom beroende på rotationsriktningen. För att få en fokalpunkt som rör sig med konstant hastighet längs spinnkurvan i Figur 1 beräknas först dess medelhastighet:

20

$$V_{medel} = \frac{\int_0^T \left| \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \right| dt}{T} \quad \text{Ekv. 5}$$

25 Där :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$V_{medel}$  är hastigheten som fokalpunkten ska förflytta sig med. Vid tiden  $t$  har fokalpunkten förflyttat sig sträckan:

5

$$s = t * V_{medel}$$

Denna sträcka måste vara lika med spinnkurvanslängd vid tiden  $t'$ . Alltså:

10

$$s = t * V_{medel} = \int_0^{t'} \left| \frac{dr(t)}{dt} \right| dt \quad \text{Ekv. 6}$$

Genom att lösa ekv. 6 för  $0 < t' < T$  fås  $t'$  som funktion av  $t$ .  $t'$  används sedan i Ekv. 1 vilket ger spottens läge som funktion av tiden  $t$ .

15

Ett flertal simuleringar med olika hastigheter och  $A_y$  har visat att smältzonen 0.1-0.15 mm under ytan har en ungefärlig bredd av  $1.8A_y$ . Hoppet mellan två spinlinjer bör då vara:

20

$$\text{Hoppspin} = 1.8A_y - 0.3$$

Avståndet till starten från en kant blir ungefär:

$$\text{Starthopp} = 0.8A_y - 0.15$$

25

I figur 12 visas att en sammanhängande bred smält rand vilken propagerar i riktningen  $x$  markerad med en pil i diagrammet. Fokalpunkterna med en diameter  $D$  är markerade i diagrammet. Det överlappande mönstret ser till att sammansmältning sker inom ett område utanför fokalpunkten. Ett sådant

område är utritat och markerat med symbolen  $\delta$ . Sammantaget bildar dessa områden en heltäckande area vilken propagerar i riktningen markerad med pilen x.

- 5 Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är körschemat så utformat att det område som skall sammansmältas, dvs det utvalda området, indelas i ett eller flera inre områden I, var och en uppvisande en rand R.

- 10 Såsom ovan angivits visas i figur 4 schematiskt ett område 35 som skall sammansmältas. Detta område är indelat i ett flertal delområden 80 – 91, vilka var och en uppvisar ett inre område och en rand. Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen utformas körschemat så att det inre området I hos en uppsättning angränsande delområden inom sammansmälts under ett rörelsemönster för fokuspunkten hos strålskanonens stråle, vilket innefattar en
- 15 huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komponent i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Företrädesvis sammansmälts åtminstone den rand som bildar en inre eller yttre mantelyta hos den färdiga kroppen under en rörelse vilken följer randen utan tillägg av störterm. Enligt en utföringsform
- 20 av uppfinningen sammansmälts de inre områdena I i ett första processteg varefter ränderna sammanfogar de inre områdena i ett efterföljande processteg. Genom detta förfarande minskas förekomsten av böjspänningar i den tredimensionella kroppen efter avsvälning. I en alternativ utföringsform kan ränderna sammansmältas i ett första processteg och de inre områdena i
- 25 ett efterföljande processteg. Detta kan vara fördelaktigt när mycket tunna pulverlager utläggs varvid en solid mantelyta skapas, eventuellt med ett antal inre stadgande skott. De inre områdena kan därefter sammansmältas i ett senare processteg där flera pulverlager sammansmälts i ett gemensamt svep med strålskanonen över flera lager. Detta medför att de inre områdena blir lätt
- 30 sintrade, vilket kan vara fördelaktigt för vissa produkter.



Enligt vad som visas i fig. 13 innefattar anordningen enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen vidare organ 14 för avkänning av ytegenskaper hos ett hos pulverbädden beläget ytlager. Detta organ 14 för avkänning av temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden 5 beläget ytlager utgörs företrädesvis av en kamera. I en föredragen utföringsform av uppfinningen nyttjas kameran dels till att uppmäta temperaturfördelningen på ytlagret, dels till att uppmäta förekomsten av ytojämnheter genom den skuggbildning som ytojämnheter ger upphov till. Information om temperaturfördelningen nyttjas dels till att åstadkomma en så jämn temperaturfördelning som möjligt över de delar av ytlagret som skall smältas, dels kan information nyttjas för att kontrollera eventuella måttavvikelser mellan genererad tredimensionell produkt och förlaga eftersom temperaturfördelningen återspeglar produktens form. I en föredragen utföringsform av uppfinningen är videokameran monterad på utsidan av det hölje 15 som innesluter pulverbädd 5 och strålskanon 6. För att möjliggöra temperaturmätning är höljet försett med ett genomsynligt fönster 16. Pulverbädden 5 är synlig för kameran genom detta fönster.

I en föredragen utföringsform av uppfinningen, vilken visas i figur 14, är fönstret 16 täckt av en skyddsfilm 17. Skyddsfilmen matas från en utmatningsenhet 18 till en uppsamlingsenhet 19 varvid filmen successivt bytas ut vilket medför att genomsynligheten kan bibehållas. Skyddsfilmen är nödvändig eftersom beläggningar uppstår till följd av smältprocessen.

En detaljerad beskrivning avseende generering och korrigering av körscheman följer nedan i anslutning till beskrivningen av ritningsfigurema 15

I figur 15 visas schematiskt en metod för framställning av tredimensionella kroppar enligt uppfinningen. Den tredimensionella kroppen bildas genom successiv sammansmältning av utvalda områden av en pulverbädd, vilka delar motsvarar successiva tvärsnitt hos den tredimensionella kroppen.

I ett första metodsteg 100 sker påläggning av pulverlager på ett arbetsbord. Påläggning sker genom att ovan nämnda organ 28 distribuerar ett tunt lager av pulver på arbetsbordet 2.

- 5 I ett andra metodsteg 110 tillförs energi från en strålskanon 6 enligt ett för pulverlagret fastställt körschema till ett urvalt område inom pulverlagret varvid sammansmältning av det enligt nämnda körschema utvalda område av pulverlagret för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella kropp äger rum. En tredimensionell kropp bildas genom successiv
- 10 sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur successivt pålagda pulverlager. De successiva tvärsnitten är enligt en föredragen utföringsform indelade i ett eller flera inre områden I, var och en uppvisande en rand R, där det inre området I enligt uppfinningen sammansmälts under ett
- 15 rörelsemönster för fokuspunkten hos strålskanonens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komposant i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Enligt en ytterligare föredragen utföringsform sammansmälts randen under en huvudsakligen rätlinjig rörelse hos strålskanonens stråle.

20

I ett tredje metodsteg 120 beräknas en energijämnvikt för åtminstone ett delområde inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till delområdet från delområdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos delområdet. Beräkningen

25

I figur 16 visas schematiskt tillvägagångssättet för generering av primära körscheman. I ett första steg 40 genereras en 3D modell, i exempelvis ett CAD-program, av den produkt som skall tillverkas, alternativt inmatas en

30

färdiggenererad 3D modell av den produkt som skall tillverkas till styrdatorn 8. Därefter genereras i ett andra steg 41 en matris innehållande information om utseenden på tvärsnitt av produkten. I figur 21 visas en modell av en

hammare med exempel på tillhörande tvärsnitt 31- 33. Dessa tvärsnitt visas även i fig. 22a- 22c. Tvärsnitten utlägges med en täthet motsvarande tjockleken av de skilda lagren som skall sammansmältas för att bilda den färdiga produkten. Tjockleken kan med fördel varieras mellan de olika lagren.

- 5 Det är bland annat fördelaktigt att göra lagren tunnare i områden där stor variation finns på tvärsnittens utseende mellan näraliggande lager. Vid genereringen av tvärsnitten skapas sålunda en matris innehållande information om utseende på alla tvärsnitt, vilka tillsammans bygger upp den tredimensionella produkten.

10

När tvärsnitten väl är genererade genereras i ett tredje steg 42 ett primärt körschema för varje tvärsnitt. Genereringen av primära körscheman baseras dels på formigenkänning av de delar som bygger upp ett tvärsnitt, dels på kunskap om hur körschemat påverkar avsvälningstemperaturen hos lokala delar av ett tvärsnitt. Målsättningen är att skapa ett körschema som medför att avsvälningstemperaturen är så jämn som möjligt hos de delar som sammansmälts innan nästa lager påläggs samtidigt som avsvälningstemperaturen skall hållas inom önskat intervall för att reducera risken för uppkomst av krympspänningar i produkten samt reducera storleken på uppkomna krympspänningar i produkten, med deformation av produkten som följd.

20

I första hand genereras ett primärt körschema utgående från formen hos skilda ingående delar av tvärsnittet. Vid genereringen identifieras varje tvärsnitts rand och inre område. I förekommande fall bildas en uppsättning inre områden vilka var och en uppvisar ränder. För de inre områdena genereras enligt uppfinningen ett körschema där strålens avgivna effekt eller svephastighet korrigeras enligt den utförda energijämnviksberäkningen för att tillse att ytan hos den bearbetade kroppen kan hållas inom ett givet

25

- 30 temperaturintervall. Förutom den avgivna effekt som syftar till att direkt sammansmälta områden , eller sammansmälta områden genom repetitiva svepningar över ytan kan körschemat anordnas så att för och/eller



eftervärmning med lägre effekt äger rum på delar av ytan. Mängden energi som skall tillföras för att bibehålla en ytemperatur inom ett givet temperaturintervall bestäms av den energijämnviksberäkning som utförts.

- 5 Enligt en utföringsform av uppfinningen genereras ett körschema vilket uppvisar ett rörelsemönster för strålskanonens fokuspunkt vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komponent i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen enligt vad som ovan angivits. Vid ränderna rör
- 10 sig strålskanonens fokuspunkt i ett huvudsakligen linjärt rörelsemönster. Detta innebär att strålskanonen följer randens form.

- I en föredragen utföringsform av uppfinningen utläggs sålunda primära körscheman baserade på erfarenhet om vilka körscheman som ger en god
- 15 temperaturfördelning på avsvälningstemperaturen hos tvärsnittet, varvid risken krympspänningar i produkten med deformation av produkten som följd kan reduceras. För detta ändamål finns en uppsättning körscheman för områden av skilda former lagrade i ett minne. Körscheman enligt uppfinningen är så utformade att strålskanonens fokuspunkt inom inre
- 20 områden rör sig i ett rörelsemönster vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komponent i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Förutom denna information kan körscheman innefatta en lista på i vilken ordning en uppsättning inre
- 25 områden skall bearbetas, information om uppvärmning av skilda områden och information om energitillförsel och svephastighet. I en föredragen utföringsform uppdateras detta minne allteftersom resultat av korrigeringar av körschemat utvärderas, varvid ett självlärande system erhålles.
- 30 I en alternativ utföringsform av uppfinningen matas redan färdiga tvärsnitt, vilka genererats av en fristående dator, in till ett minne i styrdatorn, där

nämnda primära körscheman genereras. I detta fall erhålles information direkt till det tredje steget 42 via en extern källa 40a.

I figur 17 visas schematiskt ett förfarande för generering av en  
5 tredimensionell kropp vilken innefattar metodsteg för beräkning av energijämnvikt för ett lager. I ett första metodsteg 130 sker ett fastställande av parametrar på vilka en energijämnviktsberäkning baseras. I ett andra metodsteg 140 sker en beräkning av energijämnvikten för ett åtminstone ett delområde hos det utvalda området 35. Beräkningen sker enligt den tidigare  
10 redovisade metoden.

I ett tredje metodsteg 150 sker en uppdatering av körschemat i beroende av den beräknade energijämnvikten. Om energijämnvikten resulterar att tillräckligt värmeenergi finns lagrad i delområdet för att bibehålla önskad  
15 arbetstemperatur sker ingen extra energitillförsel. Om energijämnvikten resulterar att tillräcklig värmeenergi inte finns lagrad i delområdet för att bibehålla önskad arbetstemperatur sker enligt en utföringsform av uppfinningen extra energitillförsel i form av förvärmning av delområdet innan sammansmältning sker. Denna förvärmning kan ske genom att strålskanonen  
20 sveps mycket snabbt över området eller att strålskanonen sveper över området med lägre effekt än normalt alternativt en kombination av bådadera. Förvärmningen äger rum i ett fjärde metodsteg 160. Redan sammansmälta områden kan även eftervärmas för att de inte skall kylas av till en temperatur understigande ett givet gränsvärde.

25 I ett femte metodsteg 170 sker sammansmältningen genom att strålskanonen sveps över delområdet.

I figur 18 visas schematiskt en utföringsform av uppfinningen vilken i  
30 förekommande fall utnyttjar de ovan beskrivna metoderna för generering och korrigering av körscheman. I ett första metodsteg 180 identifieras ett eller flera av inre områden i hos det utvalda området. I ett andra metodsteg 190

identifieras den eller de till nämnda inre områden tillhörande randen eller ränderna R vilka var och en omsluter nämnda inre område. I ett tredje metodsteg 200 sammansmälts nämnda inre områden I under en delvis överlappande cirkelformad rörelse hos den av strålskanonen avgivna strålen.

- 5 Under ett fjärde metodsteg 210 sammansmälts nämnda ränder under en rätlinjig rörelse hos strålen. Korrigeringen är av mindre magnitud för processer vilka nyttjar den uppfinningsmässiga metoden med ett rörelsemönster uppvisande en störterm samt för processer där en energijämnviktsberäkning utförs. En korrigering kan ändock nyttjas för att  
10 ytterligare förbättra slutresultatet.

Enligt en utföringsform av uppfinningen är körschemat anordnat att konsekutivt sammansmälta pulvret inom ett område i taget inom nämnda inre områden.

15

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är styrdatorn anordnad att indela ytan inom varje pulverlager i en uppsättning avskilda områden, varvid nämnda uppsättning avskilda områden innefattar en första grupp områden vilka ligger helt inna för nämnda utvalda områdes rand samt en andra grupp  
20 områden vars ränder delvis sammanfaller med nämnda utvalda områdes rand. Styrdatorn är vidare anordnad att tillse att nämnda inre områden hos en uppsättning områden inom nämnda första grupp av områden sammansmälts under en delvis överlappande cirkelformad rörelse hos strålskanonens stråle.

25

I en utföringsform av uppfinningen sker sammansmältningen hos de inre områdena i nämnda andra grupp av områden med en fokalpunktsrörelse innefattande en störterm enligt vad som ovan beskrivits. I en alternativ utföringsform av uppfinningen sker sammansmältningen inom de inre  
30 områdena i nämnda andra grupp av områden med en huvudsakligen rätlinjig rörelse.

- Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen nyttjas vid ovan beskrivna utföringsformer avseende indelning av den utvalda ytan i mindre deltytor den ovan beskrivna beräkningen av energijämvikt för att styra körschemat med avseende på kalibrering av strålens effekt och tillförsel av energi för
- 5    uppvärmning av pulverbädden innan slutlig sammansmältning sker.

- I figur 19 visas schematiskt ett förfarande innefattande ytterligare korrigering av körscheman med hjälp av information inhämtad från en kamera vilken uppmäter temperaturfördelningen över pulverbäddens yta. Enligt förfarandet
- 10    styrs strålen från strålskanonen över pulverbädden för att generera ett tvärsnitt av en produkt. I ett första steg 50 påbörjas styrning av stålen över pulverbädden enligt det i steg 42 definierade primära körschemat. I nästa steg 51 mäts temperaturfördelningen på pulverbäddens ytlager av kameran. Av den uppmätta temperaturfördelningen genereras därefter en
- 15    temperaturfördelningsmatris,  $T_{ij\text{-uppmätt}}$ , där temperaturen på små delområden av pulverbäddens ytlager lagras. När matrisen är generad jämförs varje temperaturvärde  $T_{ij\text{-uppmätt}}$  i matrisen med önskat värde hos en börvärdesmatris  $T_{ij\text{-börvärde}}$ . Pulverbäddens ytlager kan grovt indelas i tre kategorier. För det första, områden där sammansmältning pågår genom
- 20    bearbetning av strålskanonen. I dessa områden är maximala smälttemperatur  $T_{ij\text{-max}}$  av intresse. För det andra, områden som redan sammansmälts och som därigenom svalnar. I dessa områden är en minimal tillåten avsvälningstemperatur  $T_{ij\text{-avsvälning-min}}$  av intresse eftersom alltför kall avsvälningstemperatur ger upphov till spänningar och därigenom
- 25    deformationer av ytlagret. För det tredje, områden som inte bearbetats av strålskanonen. I dessa områden är bäddtemperaturen  $T_{ij\text{-bädd}}$  av intresse. Det är även möjligt att temperaturen jämförs enbart i bearbetade områden, varvid  $T_{ij\text{-bädd}}$  inte lagras och/eller kontrolleras.
- 30    I ett tredje steg 52 undersöks om  $T_{ij\text{-uppmätt}}$  avviker från önskat värde  $T_{ij\text{-börvärde}}$  och om avvikelsen är större än tillåtna gränsvärden. Gränsvärden  $\Delta T_{ij\text{-max}}$ ,

$\Delta T_{ij}$ -avsvälning och

- $\Delta T_{ij}$ -bädd tillhörande de tre olika kategorierna finns lagrade i styrdatorn 8. Det är även möjligt att bäddtemperaturen inte kontrolleras. I detta fall lagras inte det tillhörande gränsvärdet. Om avvikelser mellan  $T_{ij}$ -uppmätt och  $T_{ij}$ -börvärde inte
- 5 överstiger detta gränsvärde undersöks i ett fjärde steg 53 huruvida ytlaget är färdigbearbetat. Om så inte är fallet fortsätter körningen enligt det gällande körschemat varvid ovan nämnda metodsteg 50 – 53 genomlöpes ytterligare en gång.
- 10 Om avvikelser mellan  $T_{ij}$ -uppmätt och  $T_{ij}$ -börvärde överstiger något av nämnda gränsvärden sker en korrigering av körschemat 42 i ett femte steg. Nämnda korrigering utförs i en föredragen utföringsform enligt det schema som visas i figur 20.
- 15 I en föredragen utföringsform av uppfinningen utlägges ett nytt pulverlager först efter färdigställandet av varje lager, varvid produkten uppbyggs genom successiva sammansmältningar av pulverlager tills det att produkten är färdig. I detta fall påbörjas, efter ett sjätte steg 55, ett nytt lager, om produkten i sin helhet inte är färdig, när det i det fjärde steget 53
- 20 konstaterats att körschemat för ett lager är avslutat.
- Korrigeringen av körschemat innefattar i en föredragen utföringsform följande metodsteg:
- I ett första steg 56 jämförs  $T_{ij}$ -max med  $T_{ij}$ -max-börvärde. Om  $T_{ij}$ -max avviker från  $T_{ij}$ -
- 25 max-börvärde överstigande  $\Delta T_{ij}$ -max kalibreras i ett steg 56a energitillförseln till pulverlaget genom att antingen ändra strålens effekt eller ändra strålens svephastighet.
- I ett andra steg 58 jämförs  $T_{ij}$ -avsvälning med  $T_{ij}$ -avsvälning-börvärde. Om  $T_{ij}$ -avsvälning avviker från  $T_{ij}$ -avsvälning-börvärde överstigande  $\Delta T_{ij}$ -avsvälning ändras strålens
- 30 körschema i ett steg 58a. Det finns flera sätt att ändra körschemat hos en stråle. Ett sätt att ändra körschemat är att tillåta att strålen återuppvärmer



områden innan de avsvanat för mycket. Strålskanonen kan då svepa över redan sammansmälta områden med lägre energiintensitet och/eller högre svephastighet.

- 5 I ett tredje steg 60 undersöks huruvida  $T_{ij}$ -bädd avviker från  $T_{ij}$ -bädd-börvärde. Om avvikelserna är större än  $\Delta T_{ij}$ -bädd kan i en utföringsform av uppfinningen bäddens temperatur korrigeras i ett steg 60a, exempelvis genom att strålen förmås svepa över bädden för tillförsel av energi. Det är även möjligt att till anordningen ansluta separat bädduppvärmningsutrustning.

10

Det är även möjligt att en storlekskontroll av det föremål som skall tillverkas görs genom den värmekamera som installerats i anordningen. Enligt vad som ovan beskrivits uppmäts bädden och de delar som sammansmälts. Den uppmätta värmefördelningen avspeglar helt och hållet objektets form i ett

15

snitt av den tredimensionella kropp som skall skapas. En kontroll av föremålets dimensioner kan därigenom göras i ett fjärde steg 62 och återkoppling av X-Y avlänkning av strålskanonens stråle kan därigenom utföras. Denna kontroll utförs i en föredragen utföringsform av uppfinningen i ett steg 62a där avvikelserna mellan mått på tvärsnittet görs och om avvikelserna är större än tillåten, strålskanonens X-Y avlänkning korrigeras.

20

Dessutom kan insignaler från kameran nyttjas till att identifiera förekomsten ytojämnheter, exempelvis i form av en svetsloppa. När koordinaterna för en ytojämnheter har identifierats kan körschemat uppdateras så att strålskanonen beordras till identifierad koordinat för att smälta ned ytojämnheten.

25

Uppfinningen är inte begränsad till det ovan beskrivna utföringsexemplet, exempelvis kan strålskanonen utgöras av en laser, varvid avlänkingsorganen utgörs av styrbara speglar och eller linser.

30

Uppfinningen kan vidare utnyttjas i en anordning för framställande av en tredimensionell produkt genom energiöverföring från en energikälla till ett

- produktråmaterial, vilken anordning innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda tredimensionella produkt skall uppbyggas, en dispenser vilken är anordnad att lägga ut ett tunt lager av produktråmaterial på arbetsbordet för bildande av en produktbädd, ett organ för avgivande av energi till valda
- 5 områden av produktbäddens yta varvid en fasövergång hos produktråmaterialet medges för bildande av ett fast tvärsnitt inom nämnda område och en styrdator vilken hanterar ett minne i vilket information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad, vilka tvärsnitt bygger upp den tredimensionella produkten, där styrdatorn är ämnad
- 10 att styra nämnda organ för avgivande av energi så att energi tillförs till nämnda valda områden, varvid nämnda tredimensionella produkt bildas genom successiv sammanbindning av successivt bildade tvärsnitt ur av dispensern successivt pålagt produktråmaterial.
- 15 I detta fall är utföringsformen inte begränsad till sammansmältning av pulver genom att en strålskanon bestrålar ytan hos en pulverbädd. Produktråmaterialet kan utgöras av varje material vilka efter en fasövergång bildar en fast kropp, exempelvis stelning efter smältning eller härdning. Det energiavgivande organet kan utgöras en elektronkanon, en laser vilka styrs
- 20 överarbetsytan alternativt av ett energiavgivande organ vilket kan projicera ett tvärsnitt direkt på produktbädden.

De ovan beskrivna utföringsform kan i övrigt utrustas med alla de särdrag som finns beskrivna i förhållande till den tidigare beskrivna utföringsformen.

PATENTKRAV

- 1           Metod för framställning av tredimensionella kroppar genom  
successiv sammansmältning av utvalda områden av en  
5           pulverbädd, vilka delar motsvarar successiva tvärsnitt hos den  
tredimensionella kroppen, vilken metod innefattar följande  
metodsteg:  
påläggning av pulverlager på ett arbetsbord,  
tillförande av energi från en strålskanon enligt ett för pulverlagret  
10           fastställt körschema till nämnda utvalda område inom  
pulverlagret, sammansmältning av det enligt nämnda körschema  
utvalda området av pulverlagret för bildandet av ett tvärsnitt av  
nämnda tredimensionella kropp, varvid en tredimensionell kropp  
bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade  
15           tvärsnitt ur successivt pålagda pulverlager  
k ä n n e t e c k n a d a v att en energijämnvikt beräknas för  
nämnda utvalda område, varvid vid beräkningen fastställs  
huruvida instrålad energi till det utvalda området från det utvalda  
områdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd  
20           arbetstemperatur hos det utvalda området.
- 2           Metod enligt krav 1, kännetecknad av att, förutom nämnda  
energi för sammansmältning av det utvalda området, energi för  
uppvärmning av det utvalda området tillförs i det fall att  
25           beräkningen av energijämnvikt resulterar i att tillräcklig energi för  
bibehållande av avsedd arbetstemperatur hos det utvalda  
området inte föreligger, varvid bestämd arbetstemperatur hos det  
utvalda området uppnås.
- 30   3           Metod enligt krav 1 eller 2, kännetecknad av att energijämnvikten  
för varje pulverlager beräknas enligt  $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$ , där  
 $E^{in}(i)$  utgör inmatad energi till det utvalda området  $E^{out}(i)$  utgör

energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet  
 +  $E^{\text{heat}}(i)$  utgör upplagrad i det utvalda området.

- 4                      Metod enligt något av föregående patentkrav, kännetecknad av  
 5                      att det utvalda området indelas i en uppsättning avskilda  
                          områden, varvid en energijämnvikt beräknas för var och en av  
                          nämnda uppsättning avskilda områden.
- 5                      Metod enligt krav 4, där varje avskilt område innefattar ett inre  
 10                      område och en rand kännetecknad av att det inre området hos  
                          en uppsättning angränsande avskilda områden sammansmälts i  
                          ett första processteg, varefter nämnda ränder mellan nämnda  
                          avskilda områden sammansmälts.
- 15      6                      Anordning för framställande av en tredimensionell produkt, vilken  
                          anordning innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda  
                          tredimensionella produkt skall uppbyggas, en pulverdispenser  
                          vilken är anordnad att lägga ut ett tunt lager av pulver på  
                          arbetsbordet för bildande av en pulverbädd, en strålskanon för  
 20                      avgivande av energi till pulvret varvid sammansmältning av  
                          pulvret sker, organ för styrning av den av strålskanonen avgivna  
                          strålen över nämnda pulverbädd för bildandet av ett tvärsnitt av  
                          nämnda tredimensionella produkt genom sammansmältning av  
                          delar av nämnda pulverbädd och en styrdator i vilken information  
 25                      om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns  
                          lagrad, vilka tvärsnitt bygger upp den tredimensionella  
                          produkten, där styrdatorn är ämnad att styra nämnda organ för  
                          styrning av strålskanonen över pulverbädden enligt ett körschema  
                          bildande ett tvärsnitt hos nämnda tredimensionella kropp, varvid  
 30                      nämnda tredimensionella produkt bildas genom successiv  
                          sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur av  
                          pulverdispensern,



- 5 k ä n n e t e c k n a d a v att styrdatoren vidare är anordnad att beräkna en energijämnvikt för åtminstone ett delområde inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till delområdet från delområdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos delområdet.
- 7 Anordning enligt krav 6, kännetecknad av att styrdatoren är anordnad att styra nämnda körschema för tillförsel av, förutom 10 nämnda energi för sammansmältning av pulverlager, energi för uppvärmning av pulverlagret i det fall att beräkningen av energijämnvikt resulterar i att körschemat ej ger tillräcklig energi för bibehållande av avsedd arbetstemperatur hos delområdet, varvid bestämd arbetstemperatur hos delområdet bibehålles.
- 15 8 Anordning enligt krav 6 eller 7, kännetecknad av att styrdatoren är anordnad att beräkna energijämnvikten för varje pulverlager enligt  $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$ , där  $E^{in}(i)$  utgör inmatad energi till delområdet  $E^{out}(i)$  utgör energiförluster genom avledning och 20 utstrålning från delområdet +  $E^{heat}(i)$  utgör upplagrad energi i delområdet.
- 25 9 Anordning enligt något av kraven 6 - 8, kännetecknad av att styrdatoren är anordnad att indela ytan inom varje pulverlager i en uppsättning avskilda områden, varvid en energijämnvikt beräknas för var och en av nämnda uppsättning avskilda områden.
- 30 10 Anordning enligt krav 9, där varje avskilt område innefattar ett inre område och en rand kännetecknad av att styrdatoren är anordnad att styra en energiavgivande stråle från nämnda strålskanon enligt nämnda körschema för att medge att det inre

området hos en uppsättning angränsande avskilda områden sammansmälts i ett första processteg, varefter nämnda ränder mellan nämnda områden sammansmälts.

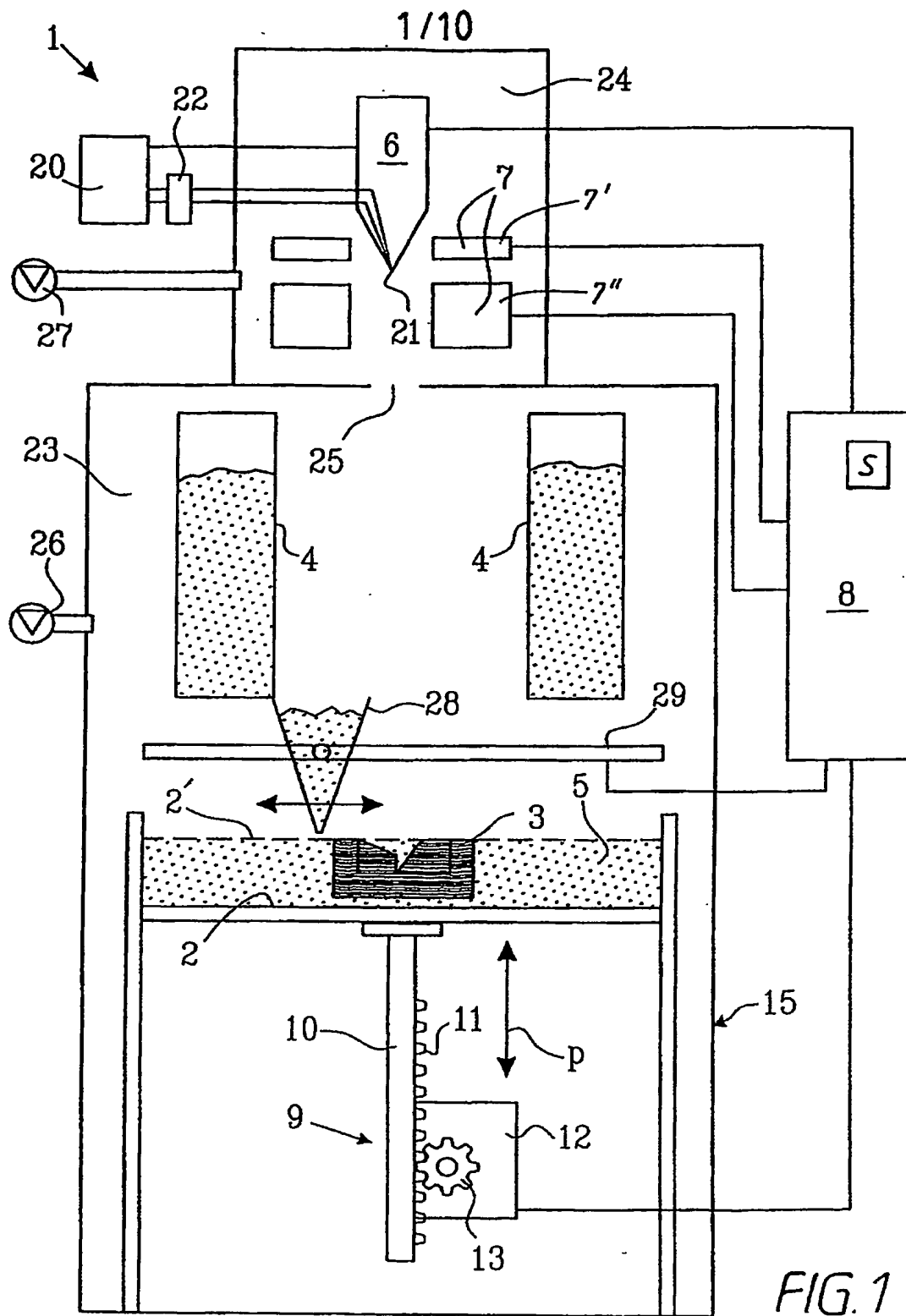
- 5 11 Anordning enligt något av kraven 9 - 10, kännetecknad av att styrdatorn är anordnad att styra en energiavgivande stråle från nämnda strålskanon enligt nämnda körschema för att medge att nämnda inre områden sammansmälts under en delvis överlappande cirkelformad rörelse hos strålskanonens stråle.
- 10
- 12 Anordning enligt något av kraven 6 – 11, kännetecknad av anordningen vidare innefattar organ för avkänning av temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden beläget ytlager

## SAMMANDRAG

- 5 Anordning för framställande av en tredimensionell produkt, vilken anordning innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda tredimensionella produkt skall uppbyggas, en pulverdispenser vilken är anordnad att lägga ut ett tunt lager av pulver på arbetsbordet för bildande av en pulverbädd, en strålskanon för avgivande av energi till pulvret varvid sammansmältning av pulvret sker, organ för styrning av den av strålskanonen avgivna
- 10 strålen över nämnda pulverbädd för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella produkt genom sammansmältning av delar av nämnda pulverbädd och en styrdator i vilken information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad, vilka tvärsnitt bygger upp den tredimensionella
- 15 produkten, där styrdatorn är ämnad att styra nämnda organ för styrning av strålskanonen över pulverbädden enligt ett körschema bildande ett tvärsnitt hos nämnda tredimensionella kropp, varvid nämnda tredimensionella produkt bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur av
- 20 pulverdispensern samt metod för framställande av tredimensionell produkt nyttjande en sådan anordning.

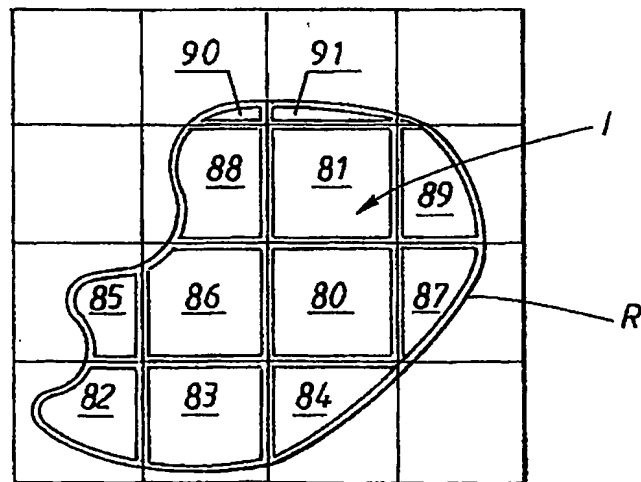
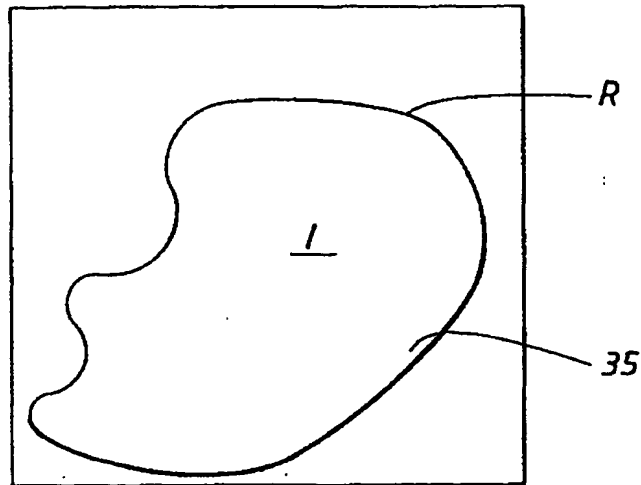
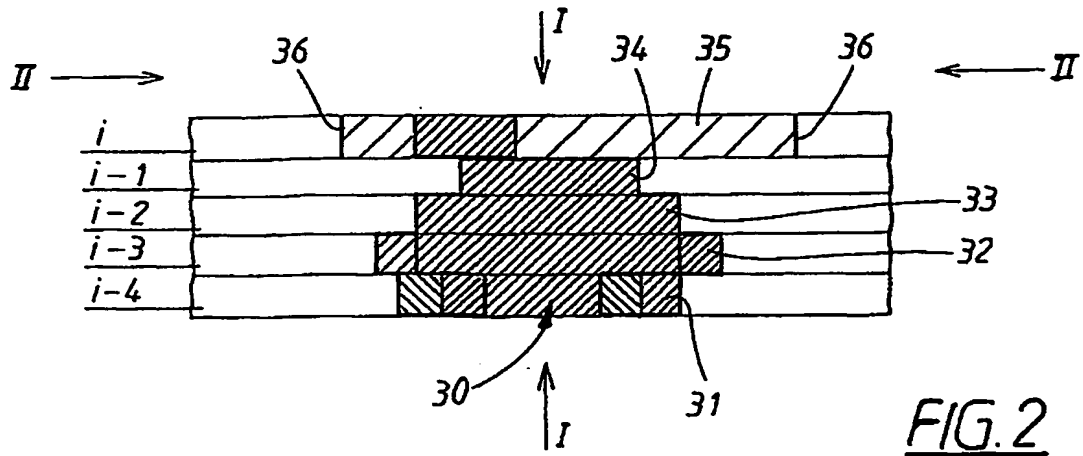
Fig. 1

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
0





2/10



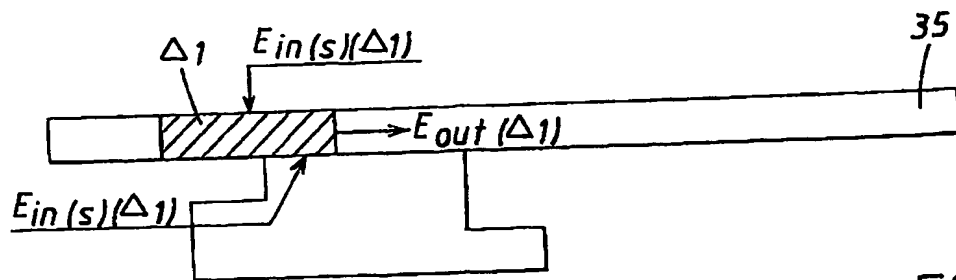


FIG. 5

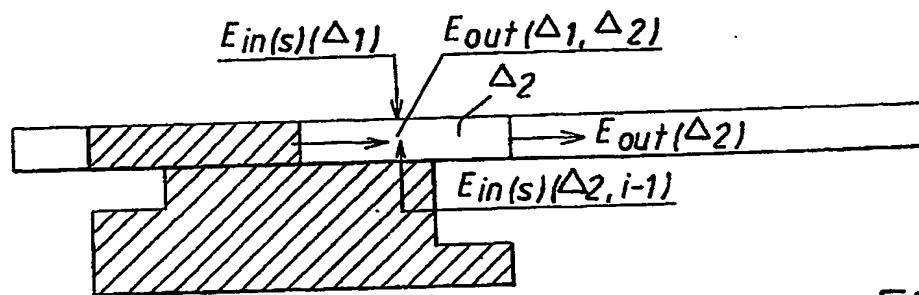


FIG. 6

4/10

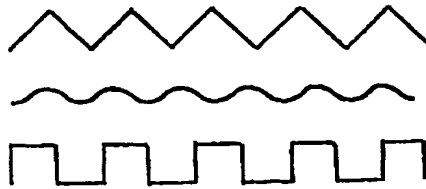


FIG. 7

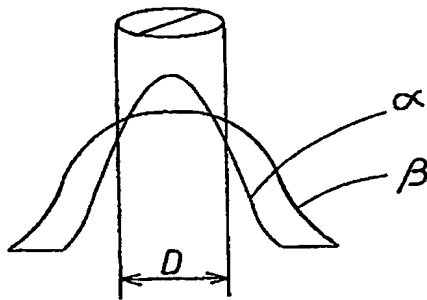


FIG. 8

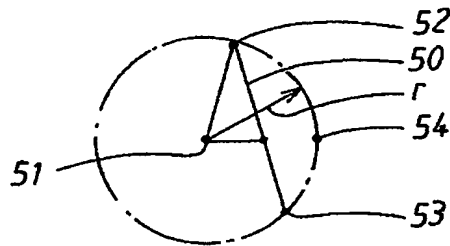


FIG. 9

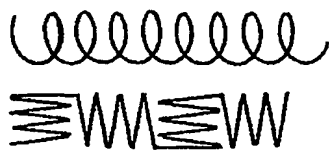


FIG. 10

5/10

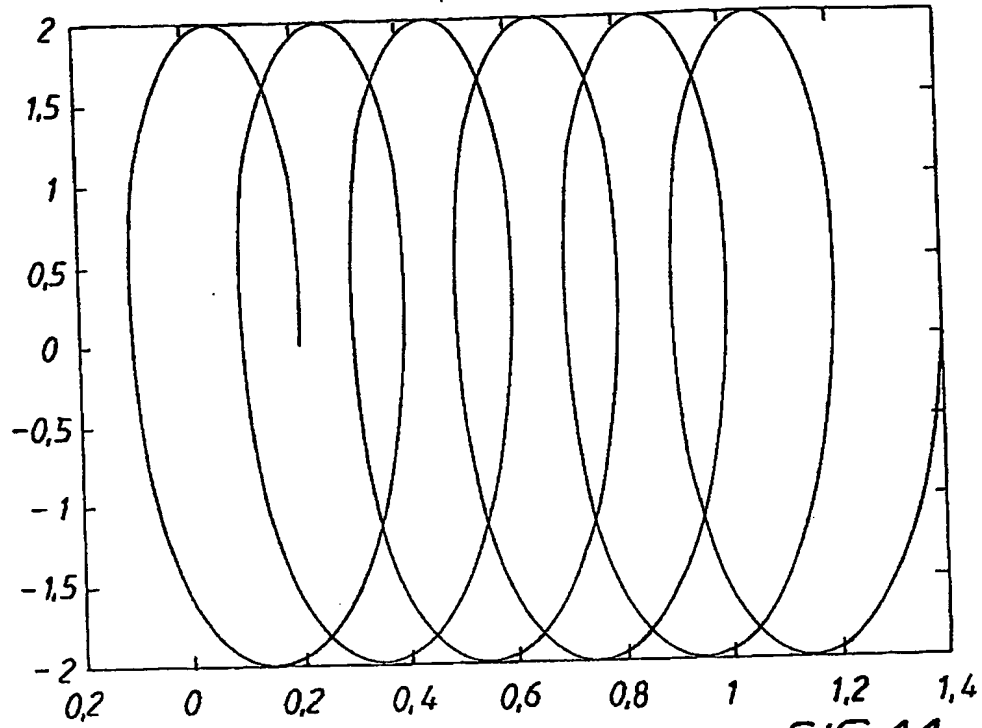


FIG. 11

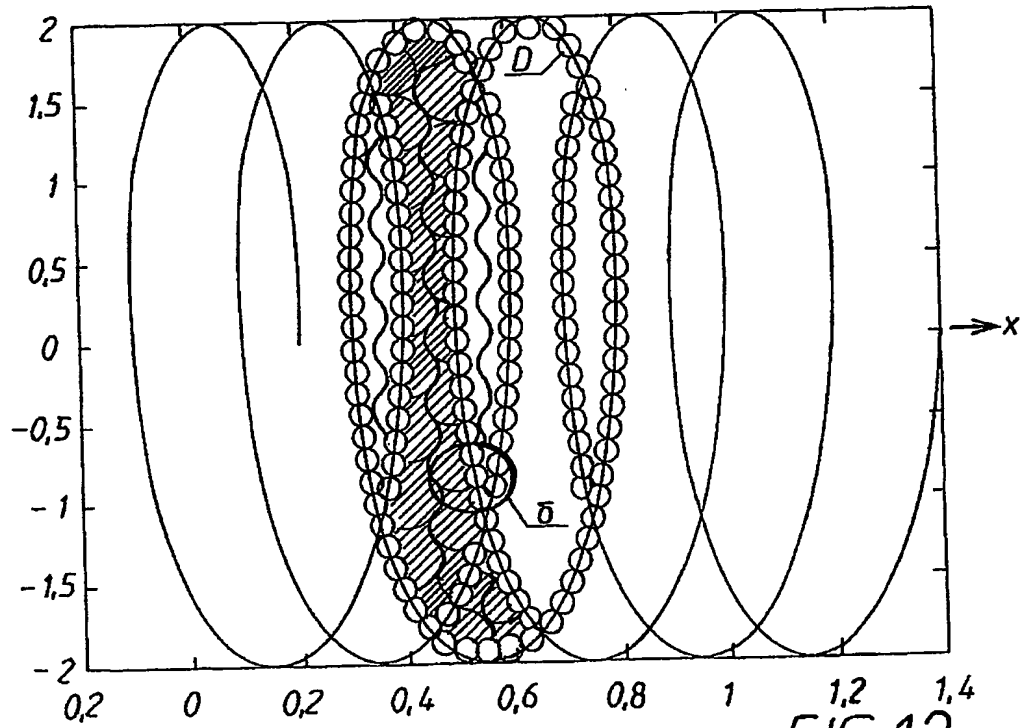


FIG. 12

6/10

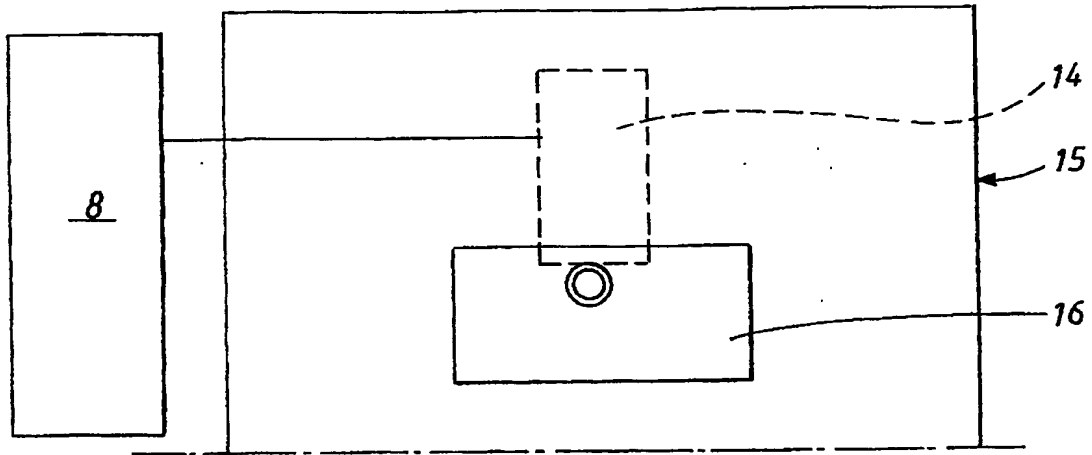


FIG. 13

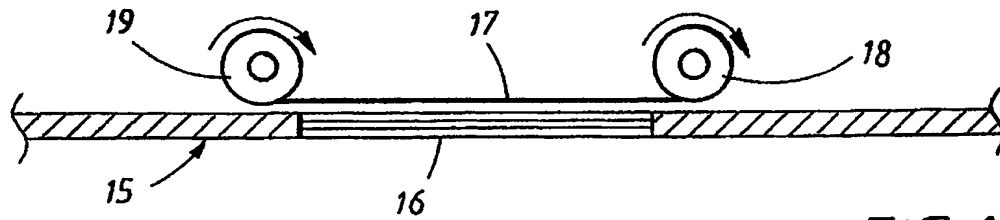


FIG. 14

7/10

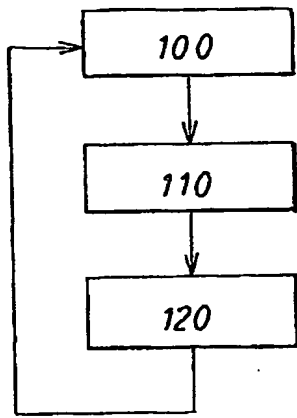


FIG. 15

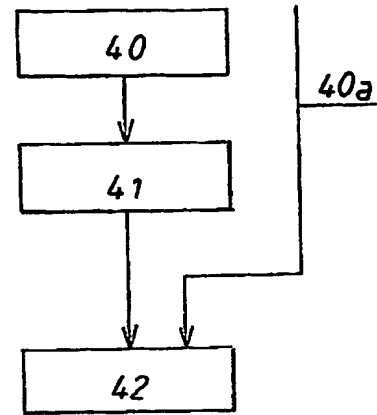


FIG. 16

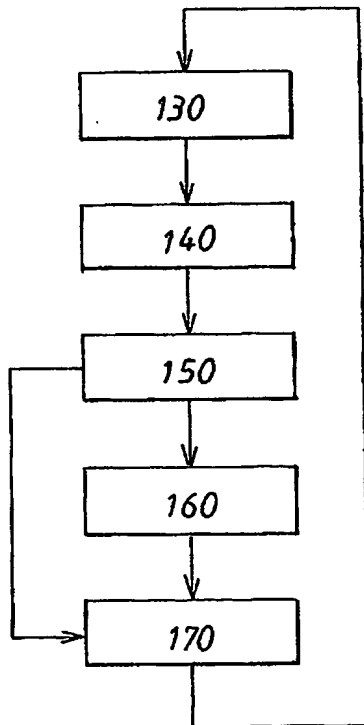


FIG. 17

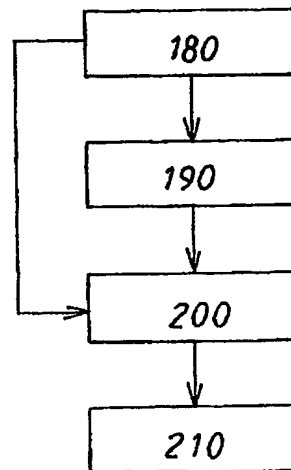
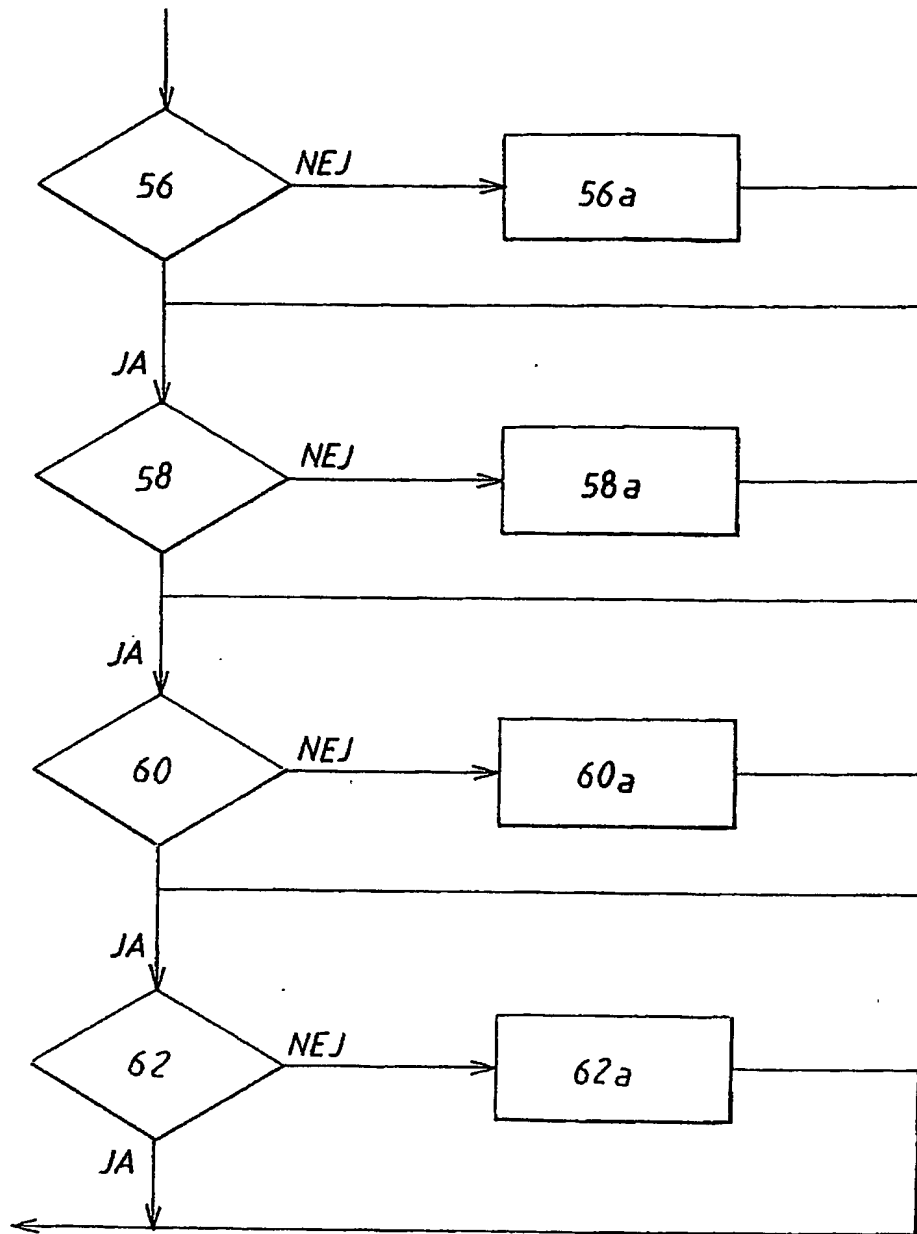


FIG. 18



9/10

FIG. 20



10/10

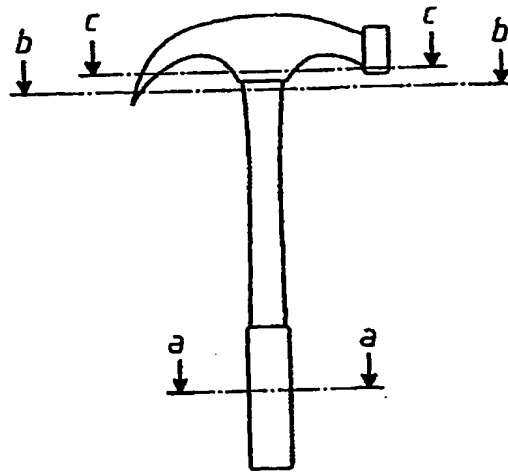


FIG. 21



FIG. 22